

Activité phytosanitaire de l'I.R.C.T. à Madagascar

par J. BOURNIER et M. VAISSAYRE *

INTRODUCTION

La culture cotonnière, dans son ensemble, est considérée comme étant un des plus importants « consommateurs » de pesticides du monde agricole ; en effet, les problèmes phytosanitaires qu'elle pose sont, la plupart du temps, nombreux, complexes et difficiles à solutionner.

A Madagascar, la lutte chimique dans cette culture a réellement débuté en 1957-1958, et a été l'un des facteurs essentiels de son développement. La mise au point d'une protection phytosanitaire efficace était en effet nécessaire pour lutter contre le complexe parasitaire très virulent que l'on rencontre tout au long de la période de culture.

Aussi, l'apparition de nouveaux insecticides de

synthèse et la mise au point de techniques d'application nouvelles a permis à la recherche phytosanitaire de disposer de nouveaux moyens pour lutter plus efficacement contre les déprédateurs de cotonnier.

Depuis 1960, des progrès réguliers ont été enregistrés dans la lutte phytosanitaire, permettant de développer la culture et d'améliorer les rendements ; en 1973, on compte 13 370 hectares semés (1 430 hectares en 1960) et le rendement moyen est de 2 283 kg/ha de coton-graine (1 506 kg/ha en 1960), le meilleur réalisé à cette date, et qui place Madagascar au quatrième rang mondial, au point de vue rendement en coton-graine.

LE FACIÈS PARASITAIRE ET SON IMPORTANCE ÉCONOMIQUE

Le complexe parasitaire

Le complexe parasitaire en culture cotonnière est très important, aussi bien au point de vue intensité que diversité des espèces.

Les déprédateurs les plus importants sont : *Heliothis armigera* Hbn, *Earias insulana* Boisd., *Platyedra gossypiella* Saund, *Spodoptera littoralis* Boisd., *Aphis gossypii* Glov., *Tetranychus neocaledonicus* André, *Dysdercus flavidus* Sign.

Tous sont ou peuvent être responsables de dégâts économiques si important que, sur une parcelle ayant une potentialité de récolte de 4 000 kg/ha de coton-graine, cette dernière est réduite à 500 ou même 50 kg suivant les années.

La période pluvieuse de début de campagne et la phase de floraison sont sujettes au parasitisme d'*H. armigera* ; ravageur polyphage, sa présence sur cotonnier paraît liée à la floraison, d'une part, à la saison

humide, d'autre part ; les dégâts se situent vers le 30^e jour après le semis, date d'apparition des premiers bourgeons floraux ; la brutalité de son attaque est telle qu'elle rend obligatoire l'intervention des traitements insecticides ; elle est si insidieuse qu'on ne s'en aperçoit qu'une fois les dégâts faits.

L'attaque se poursuit généralement pendant toute la période de floraison (soit jusqu'au 90^e jour après le semis), pouvant anéantir celle-ci en totalité. *H. armigera* nous a donc obligés à réaliser des traitements insecticides sur programme du 40^e au 90^e jour, à la cadence d'un traitement tous les 10 ou 12 jours (parfois 8 jours en période pluvieuse).

Les facteurs de régulation naturelle des populations d'*Heliothis armigera* comprennent plusieurs entomophages : *Trichogramma* sp., les Braconidae *Chelonus curvinaculatus* Cam., *Apanteles* sp. et *Meteorus* sp., et certains agents pathogènes parmi lesquels une virose à polyèdres.

Avec l'arrêt des pluies et la production de capsules vertes, le faciès parasitaire se modifie le plus souvent, l'espèce *E. insulana* prédominant alors. Inféodé aux Malvacées, peu mobile, *E. insulana* trouve

* Entomologistes à l'I.R.C.T.

refuge sur de nombreuses espèces végétales spontanées, en particulier *Abutilon indicum*, *Hibiscus parviflorus* et *Abelmoschus esculentus*. Les attaques d'*E. insulana*, bien que moins brutales que celles d'*H. armigera*, n'en sont pas moins sévères; les pontes sont difficiles à observer et les générations se superposent rapidement, au cours d'une évolution lente mais de contrôle délicat qui nécessite la réalisation de traitements insecticides spécifiques tous les 10 jours jusqu'à la récolte. Ce ravageur semble, en outre, susceptible d'acquiescer assez rapidement une tolérance au pesticide utilisé (BOURNIER et PEYRE-LONGUE, 1974). Les ennemis naturels présentent d'importantes variations d'une année à l'autre (PEYRE-LONGUE et BOURNIER, 1974).

Platyedra gossypiella apparaît tardivement (juin) et ses dégâts ne sont pratiquement pas sensibles avant la période des froids, c'est-à-dire l'époque des premières récoltes. L'insecte est, par contre susceptible de prendre une grande importance en culture de « second cycle » : pratiquement, toutes les capsules vertes non protégées peuvent héberger une chenille de *P. gossypiella*, dont les dégâts ne sont mis en évidence qu'à l'ouverture des capsules. Un ennemi naturel exerce une action sensible, le Braconide *C. curvimaclulatus*.

Le développement de *Spodoptera littoralis* a pu être lié à la présence d'adventices dans la culture, en particulier du pourpier *Portulaca oleracea*.

Dysdercus flavidus se rencontre sur diverses Malvacées. Les vols migrateurs se déclenchent en conditions chaudes et humides et ils déterminent un rapide envahissement de la culture. La nocivité de l'insecte est toutefois indirecte, l'essentiel en étant dû au développement de pourritures de capsules.

Ce déprédateur est victime d'un prédateur extrêmement actif dans la zone cotonnière du Mangoky : le Réduvide mimétique *Phonoctonus* sp.n.

Les autres déprédateurs ont des attaques moins violentes et moins insidieuses, mais peuvent également avoir une importance économique considérable, en particulier *A. gossypii* qui doit être impérativement contrôlé dans la zone cotonnière nord-ouest où ses infestations sont les plus importantes.

Les autres insectes vivant sur cotonnier, *Thrips*, *Bemisia*, Jassides, *Laphygma*, *Cosmophila*, *Xanthodes*, *Bucculatrix*, *Agrotis*, *Plusia*, *Nezara*, sont généralement peu virulents et disparaissent dès les premières interventions insecticides contre *H. armigera*, et ne sont justiciables de traitements spécifiques qu'en cas d'attaques précoces.

Les Tenebrionides, Scolytides, Curculionides, Grillicides, Acridides et Diplopodes ne causent de dégâts qu'en début de saison et très ponctuellement.

Evolution du parasitisme

Les observations régulières permettent d'enregistrer, outre les fluctuations annuelles d'une extrême amplitude (facteurs climatiques), un certain nombre de tendances successives dans l'importance relative de déprédateurs; ainsi, dans la zone cotonnière sud-ouest, en 1972-1973, année à pluviométrie extrêmement réduite, nous avons pu observer de très faibles populations d'*H. armigera*; les parcelles non traitées ont donné jusqu'à 1800 kg/ha de coton-graine. Par contre, la campagne 1973/1974, qui présentait une pluviométrie précoce et abondante, fut caractérisée par de fortes infestations d'*H. armigera*, *S. littoralis* et *X. graellsii*; les parcelles non traitées donnèrent alors une récolte de l'ordre de 200 kg/ha de coton-graine.

A partir de 1964, nous avons aussi pu constater une évolution générale du parasitisme, et dans plusieurs cas un moins bon contrôle de certaines pullulations par le programme de traitements alors vulgarisé.

En 1964, dans le nord-ouest, *A. gossypii*, qui n'était plus « freiné » par les traitements, a provoqué des chutes de rendement de l'ordre de 33 à 45 %, suivant le stade de développement du cotonnier au moment de l'attaque.

A partir de 1964 également, dans le sud-ouest, on constate un accroissement des infestations de *T. neocaledonicus*, et en 1965 de celle d'*A. gossypii*.

En 1965, la pression parasitaire d'*E. insulana* s'accroît à la Samangoky, et en 1966 des pertes, estimées entre 600 et 800 kg de coton-graine à l'hectare, sont enregistrées sur ce périmètre.

En 1967, l'intensité des pullulations d'*E. insulana* s'accroît dans la presque totalité des zones de culture du sud-ouest.

En 1968, la virulence de cet insecte commence à s'accroître dans le nord-ouest.

Ces variations dans la réponse des déprédateurs aux insecticides sont, dans la plupart des cas, dues à une modification de sensibilité des insectes aux insecticides, causée par l'utilisation répétée des pesticides et par les modifications que celle-ci entraîne dans l'équilibre des biocénoses pré-existantes.

Nos recherches ont donc dû tenir compte dans une très large mesure de ces variations annuelles et pluriannuelles, d'une part, en programmant l'essai d'un même produit ou association de produits insecticides sur plusieurs années; d'autre part, en readaptant régulièrement les recommandations phytosanitaires aux caractéristiques nouvelles du complexe parasitaire.

IMPLANTATION ET ÉVOLUTION DU RÉSEAU EXPÉRIMENTAL

Le développement des infrastructures de recherches dans le domaine phytosanitaire a comporté 4 étapes :

- 1° - Une phase d'évaluation des problèmes et leur solution sommaire grâce à une expérimentation diffuse allant de 1951 à 1955 ;
- 2° - La mise sur pied de deux secteurs de recherches permanents, l'un à Tuléar, l'autre à Majunga avec des infrastructures légères dès 1955 ;
- 3° - Le renforcement des stations de recherches de Tuléar et de Tanandava en 1960-62 ;
- 4° - Le suivi de la résistance des insectes aux insecticides et la recherche des moyens de lutte biologique à partir de 1970.

Ces diverses étapes correspondent à l'évolution tant de la production que des problèmes posés.

De 1950 à 1955, l'I.R.C.T. a d'abord défini à partir d'un réseau d'essais couvrant la Grande Ile, à l'exception de sa partie est, les zones les plus favorables à la culture cotonnière et a mis en évidence la nécessité d'une protection phytosanitaire très poussée. C'est grâce à la définition d'un programme de traitements sur calendrier pré-établi que la production cotonnière a pu débuter commercialement en 1957 dans le sud-ouest sous forme de culture irriguée sur la côte et de culture pluviale à l'intérieur des terres. Les solutions apportées aux problèmes phytosanitaires se différenciaient par le nombre de traitements selon le type de culture.

Au cours de l'étape suivante (1950 à 1960), les programmes de recherches se développaient dans le sud-ouest en faisant appel aux nouveaux insecticides de synthèse, d'une part sur le point expérimental de Befanamy à Tuléar, d'autre part sur le Centre de Recherches I.R.C.T. rattaché à l'unité-pilote de Tanandava.

Parallèlement à l'étude des produits, doses et fréquences, s'amorçait le passage des traitements terrestres aux applications par voie aérienne.

Dans le même temps s'effectuait dans le nord-ouest le lancement de la culture de décrue comportant la mécanisation des traitements terrestres. Les travaux de recherches et de mise au point des techniques s'effectuaient sur le Centre de production de semences de la C.F.D.T. à Antanimalandy.

Au début des années 1960, on notait un important renforcement des moyens de recherches dans le sud-ouest : à Tuléar la section phytosanitaire s'installait avec deux entomologistes sur la station créée sur crédits du Ministère de la Coopération aux portes de la ville sur 15 hectares de terres irrigables. A Tanandava, la création de laboratoires et l'extension des moyen de travail sur financement du Fonds Européen de Développement permettait un élargissement des programmes. Il n'existait pas de section phytosanitaire permanente dans le nord-ouest mais un simple appui des entomologistes au sud facilité par le déphasage du cycle cultural du coton dans le sud (novembre-juin) et dans le nord (avril-décembre).



Fig. 1. — Ensemble des laboratoires de la station I.R.C.T. de Tuléar.

Une période située autour de 1970 a vu survenir deux nouveaux problèmes : le contrôle d'*Aphis gossypii* sous protection phytosanitaire par avion dans le nord-ouest, l'apparition d'une résistance d'*Earias insulana* à l'endrine dans le sud-ouest. La première difficulté a pu être trouvée aisément grâce à l'adjonction d'insecticides systémiques. La seconde a trouvé immédiatement une parade grâce à un changement de produits. Parallèlement, un programme de contrôle des insectes aux insecticides a été mis sur pied et avec des objectifs à plus long terme, un projet portant sur l'emploi des entomophages et entomopathogènes a été conçu. Financé par le Fonds d'Aide et de Coopération, ce programme a débuté en

1972 à Tuléar pour les entomophages et à Tanandava pour les entomopathogènes.

L'I.R.C.T. a ainsi pu, fin 1973, remettre au CENRA-DERU des laboratoires parfaitement équipés tant à Tanandava qu'à Tuléar, le personnel malgache ayant été formé aux diverses techniques appliquées au champ et au laboratoire y compris celles relevant de la DL 50 et des élevages d'insectes.

Par contre, le développement de la culture cotonnière dans le nord-ouest justifiait depuis plusieurs années la création d'une cellule phytosanitaire ; mais fin 1973 le financement de cette dernière n'avait pu être trouvé.

RECHERCHES ENTREPRISES

Expérimentation phytosanitaire

Matériel et méthodes

Dans un premier temps, les recommandations relatives aux matières actives et à leurs associations utilisables en culture cotonnière sont issues d'essais aux champs. Ces essais ont été conduits sur la station centrale de Tuléar, ainsi que sur le point d'appui de Tanandava (périmètre irrigué du Bas-Mangoky).

Le dispositif le plus fréquemment utilisé est celui des blocs de Fisher : les parcelles élémentaires comportent 8 à 12 lignes, d'une longueur de 20 ou 25 m, et un interligne de 1 m. La densité adoptée est le plus souvent comprise entre 30 et 40 milliers de plants par hectare. Le nombre optimum de répétitions a pu être fixé à 3.

Les applications sont réalisées à l'aide d'appareils individuels ; aux appareils à pression préalable équipés d'une lance à main se sont substitués, vers 1970, des modèles à pression entretenue, équipés de rampes permettant de traiter 2 lignes par passage. La réduction du volume épandu ainsi réalisée ainsi que la pratique de l'aspersion par le haut nous ont paru en effet plus conformes aux conditions des applications réalisées en grande culture.

Les interventions suivent un rythme décadaire et sont généralement au nombre de 10 pour les essais de produits. Seules 4 à 8 lignes centrales sont traitées, ce nombre variant en fonction de la pression parasitaire (PEYRELONGUE, Rapport d'activité, 1969).

Les observations réalisées portent sur :

- l'estimation du volume de floraison et la détermination du rôle du parasitisme dans les organes tombés au sol (shedding), par comptages sur une ligne par parcelle élémentaire, trois fois par semaine ;
- l'évaluation des populations déprédatrices, au moins en ce qui concerne les principales espèces de Lépidoptères ;

— la récolte et l'analyse du coton-graine sur les deux lignes centrales de chaque parcelle.

Dans un second temps, la remise en cause de l'efficacité de certaines matières actives avec l'apparition du phénomène de résistance a conduit l'I.R.C.T. à effectuer des tests de détermination de la DL 50, pour les matières actives entrées en vulgarisation. C'est ainsi qu'a pu être mise en évidence l'acquisition par *E. insulana* d'une tolérance à l'égard de l'endrine (BOURNIER et PEYRELONGUE, 1974).

Formulations expérimentées et résultats obtenus

L'intense activité de l'industrie phytopharmaceutique au cours des quinze dernières années rendrait fastidieuse l'énumération des matières actives expérimentées par l'I.R.C.T. pendant cette période. Nous nous contenterons d'un bref rappel historique, avant de faire figurer une liste actualisée des formulations les plus efficaces dans les conditions locales de parasitisme.

Le processus suivi pour chaque molécule nouvelle proposée à l'expérimentation débute par une première année d'étude de comportement, en vue de définir le spectre d'action et d'estimer l'intérêt de la poursuite des essais. La matière active retenue passe ensuite en essai combiné doses et fréquences, avec ou sans association à un produit complémentaire. Le stade ultime consiste en une série d'essais de confirmation, pour laquelle une formulation devra se montrer, pendant trois campagnes successives, au moins égale au témoin vulgarisé, pour pouvoir être proposée à la vulgarisation.

L'évolution des recommandations résultant de ce schéma permet de distinguer trois phases au cours de la période 1960-1975 :

— Le binôme endrine-DDT a été vulgarisé de 1962 à 1965, à la dose de 400 + 1 800 g de matières actives par hectare. Divers compléments ont dû être apportés successivement à cette association : HCH pour le contrôle du *Dysdercus*, tout d'abord ; puis dimé-

thoate, rendu nécessaire pour lutter contre l'incidence croissante des populations de pucerons ;

— Le rôle joué par *Earias* sp. ne cessant de croître, le carbaryl (sevin) a été employé en fin de campagne, à partir de 1966. Parallèlement, l'endosulfan se substituait à l'endrine, dont l'efficacité paraissait de plus en plus discutable vis-à-vis d'*Earias* ;

— A partir de 1970, un certain nombre d'organophosphorés sont venus concurrencer les organochlorés employés jusqu'alors (endrine et endosulfan).

En 1973, le mélange monocrotophos + DDT, à la dose de 600 + 1 750 g/ha de m.a., était vulgarisé et reste depuis lors la formulation de référence (PEYRELONGUE et al., 1974).

Essais de produits vulgarisables

L'expérimentation réalisée au cours des quatre dernières années, en ce qui concerne les formulations retenues pour leur bon comportement face au parasitisme, et susceptibles d'être inscrites en « appel d'offres », est résumée ci-dessous :

Stations de Tuléar (1) et Tanandava (2), association au DDT, sauf *.

| Matière active | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 |
|-------------------------------------|------|------|------|------|
| Endrine | 1 2 | 2 | | 1 |
| Endosulfan | | 2 | | |
| Endosulfan + méthyl parathion | 1 2 | | | |
| Carbaryl | 1 | 1 2 | 1 2* | 1 2* |
| Monocrotophos | 1 2 | 1 2 | 1 2 | 1 2 |
| Azinphos éthyl | 1 2 | 2 | 1 2 | 1 2 |
| Méthidathion | 1 | 1 2 | 1 2 | 2 |
| Triazophos | | | 1 2 | 1 2 |
| Chlordiméform | | | | 1 2* |
| PCC | | 1 2 | | |
| PCC + méthylparathion | 1 | | | |
| Toxaphène + méthylparathion | | 1 | | |
| Phosalone + méthylparathion | 1 | | | |
| V.T. 2709 | 1 | | | |
| CELA 6900 | 1 | 2 | | |
| Méthomyl | 2 | | | |

On peut suivre sur ce tableau la sélection opérée sur 4 années successives, ainsi que l'introduction de matières actives nouvelles ; la décision de maintien ou de rejet d'une formulation est sous la dépendance de plusieurs facteurs :

- l'efficacité biologique, exprimée par les rendements en coton-graine, tout d'abord, puis le rapport efficacité/coût, issu des essais de doses ;
- la formulation, la stabilité physique et la phytotoxicité des formulations (cas du méthomyl et du méthidathion) aux concentrations usuelles ;
- les variations de sensibilité chez les espèces déprédatrices (cas de l'endrine vis-à-vis d'*E. insulana*).

En 1975, trois matières actives ont ainsi été proposées à la vulgarisation, associées à 1 750 g/ha de m.a. de DDT et par application :

- monocrotophos (diméthyl phosphate de 3 hydroxy N méthyl cis crotonamide) ;

— carbaryl : (méthyl carbamate de naphthyle 1) ;

— azinphos éthyl : (dithiophosphate de 0,0-diéthyle et de S-(oxo-4 dihydro-3,4 benzotriazine 1,2,3-yl-3) méthyle.

Une quatrième matière active semble susceptible de s'ajouter à cette liste : le triazophos.

Le chlordiméforme (chlorphénamidine) est entré en expérimentation en 1974, en tant qu'éventuel produit de remplacement pour le DDT.

Essais de doses et de fréquences

Chaque matière active ayant un comportement satisfaisant contre l'un des éléments du complexe des déprédateurs fait l'objet d'essais destinés à en préciser la dose optimale d'emploi, tant pour son effet biologique que pour son coût. Le mécanisme d'action est analysé, en outre, en fonction de l'effet fréquence. Enfin, le seuil de phytotoxicité peut ainsi souvent être précisé.

De 1970 à 1975, de tels essais de doses ont été conduits pour les produits suivants :

| Matière active | Lieu et année | |
|---------------------------------------|---------------|-----------|
| | Tuléar | Tanandava |
| Azinphos éthyl | 70 72 73 | 73 |
| Carbaryl | 70 | |
| Monocrotophos | 71 72 73 | 72 |
| Endosulfan DDT méthyl parathion | | 71 |
| Triazophos | 72 73 74 | 73 74 |
| Méthidathion | 72 73 | 73 |
| VT 2 709 | 72 | |

Dans la perspective d'un programme décadaire d'applications, les doses suivantes ont pu être retenues, en association avec 1 750 g de DDT.

| Matière active | Dose usuelle (g/ha m.a.) | Phytotoxicité (brûlures) |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Monocrotophos .. | 500 à 600 g | 1 000 à 1 200 g |
| Azinphos éthyl .. | 800 à 1 000 g | |
| Carbaryl | 1 500 à 1 700 g | |
| Triazophos | 600 à 800 g | |
| Méthidation | 700 à 900 g | |

L'expérience montre qu'en cas de débordement par le parasitisme, il conviendrait d'accroître la fréquence des interventions, plutôt que d'augmenter les doses.

Expérimentation relative au programme d'interventions

Avec le développement de la culture cotonnière dans le sud-ouest de Madagascar, il est apparu très rapidement que l'intensité du parasitisme nécessitait un programme d'intervention extrêmement strict. Dès la vulgarisation du mélange endrine-DDT, vers 1960, le programme comporte une série d'interventions à 10 jours d'intervalle, au cours de la floraison, puis à 15 jours d'intervalle, au cours de la maturation des capsules. Le programme recommandé comporte donc 8 à 9 interventions, du 45^e au 120^e jour.

La difficulté de contrôler *Heliothis armigera*, tout d'abord, entraîne certains responsables à traiter tous les 8 jours en période pluvieuse, voire à avancer la date de la première intervention.

L'importance grandissante d'*E. insulana* en phase capsulaire provoque pour sa part un accroissement des fréquences d'interventions à 10 jours, et un prolongement de la période de protection.

Les charges liées à un tel programme exerçant une forte influence sur l'aspect économique de la culture cotonnière, l'I.R.C.T. s'est attaché à définir un programme standardisé permettant de réduire le nombre des applications.

Deux grandes orientations ont été fixées pour l'expérimentation :

- la définition du programme d'interventions optimisant le bilan économique de la culture cotonnière ;
- la possibilité d'intégration de méthodes biologiques de lutte.

Nous n'envisageons dans ce chapitre que le premier de ces deux points, qui comporte trois volets :

a) Essais de dates de début des traitements (30^e au 70^e jour)

Conduits sur les stations de Tuléar et Tanandava, de 1972 à 1974, et associés dans ce dernier cas à une étude du phénomène de compensation en culture irriguée, ces essais permettent de conclure, malgré les fluctuations annuelles du parasitisme et de la climatologie, que dans la zone sud-ouest et sur semis précoces (novembre), il est possible de placer le premier traitement insecticide au 55^e-60^e jour de végétation, au lieu du 30^e jour dans le cas de semis tardifs. Une date voisine peut donc être arbitrairement fixée dans les deux cas, le 25 janvier.

b) Essais de fréquences d'intervention

Issu des essais doses x fréquence précédemment exposés, ce type d'essai répété pour chaque matière active nouvelle permet de fixer à 10 jours la périodicité usuelle des interventions. Un resserrement des applications à 8 jours ne peut se justifier qu'à titre tout à fait exceptionnel en conditions de protection normales.

c) Essais portant sur la date d'arrêt des interventions

Plus particulièrement lié à la culture irriguée, le problème de la définition d'une date d'arrêt de la protection insecticide s'est posé avec une acuité particulière sur le périmètre irrigué du Bas-Mangoky (Tanandava), du fait de la pratique de la culture « continue » sur un cycle de 250 jours.

Après quatre années d'expérimentation portant sur la physiologie de la plante en culture prolongée et comparant divers programmes de protection en fin de campagne, il est apparu que la date optimale d'arrêt de la protection se plaçait, pour le premier cycle de production, entre le 125^e et le 140^e jour de

culture. Dans le cas d'une exploitation systématique du second cycle de floraison, et malgré de fortes amplitudes annuelles, il paraît économiquement satisfaisant d'assurer une courte phase de protection dès la reprise de floraison, du 180° au 210° ou 220° jour de végétation.

Nous ne maîtrisons toutefois pas encore de façon satisfaisante les incidences biologiques de pratiques culturales nouvellement apparues (enfouissement des résidus de récolte) pour juger des conséquences à long terme, sur le plan phytosanitaire, de cette méthode d'exploitation.

Technique d'échantillonnage et matériel de traitement

Echantillonnage et déclenchement des interventions

Devant la progression du poste phytosanitaire dans le bilan économique de la culture cotonnière malgache, l'I.R.C.T. s'est intéressé à la possibilité d'ajuster le programme d'interventions à l'intensité de la pression parasitaire.

Dans un premier temps, le problème a été abordé de façon qualitative: une série de prises d'échantillons à intervalle fixe permet de définir les espèces en cause, à un instant donné, et d'en déduire la matière active qui doit dominer dans la formulation. L'échantillon consiste alors en l'examen de 100 plants pris dans la diagonale d'un bloc de culture. On a pu dégager, au vu des résultats obtenus, la notion de seuil économique d'intervention. Pour pouvoir chiffrer un tel seuil, il est nécessaire de disposer d'estimations fidèles des densités des populations déprédatrices. Trois étapes successives ont alors été abordées:

- Définition de l'échantillon élémentaire permettant d'estimer une telle population;
- Intervalle de confiance lié aux moyennes obtenues;
- Définition d'un modèle permettant une prise de décision rapide en matière d'intervention.

Définition de l'unité de prélèvement

Une étude préliminaire (1969-1971) s'est attachée à la définition d'un échantillon présentant la probabilité de biais la plus faible, compte tenu d'un facteur essentiel: le facteur humain. Le résultat, exprimé en fonction de la fidélité à la moyenne réelle obtenue au terme d'une journée de travail normale, conduit à l'examen (RAZANAMINO, 1973), par une équipe de deux observateurs, d'une trentaine d'échantillons constitués par 5 mètres linéaires de cotonniers, examen portant sur la quasi-totalité de la plante (bouquet terminal, boutons floraux et capsules). Cet examen, concernant les populations de chenilles, peut être complété par des notations relatives à la phénologie de la plante, élément essentiel à la définition du seuil de nuisibilité à un instant donné.

Loi de distribution des populations larvaires

De 1971 à 1974, le programme de travail devait permettre la définition de l'intervalle de confiance lié aux moyennes obtenues pour *H. armigera* et *E. insulana*. L'hypothèse de départ portant de toute évidence vers une distribution de type agrégatif, les distributions de fréquence des chenilles ont été confrontées à quelques modèles usuels, dans le plan d'échantillonnage d'élément unitaire défini précédemment (VAISSAYRE, 1973).

Qu'il s'agisse d'observations systématiques, dans des parcelles expérimentales carroyées en quadrats de 5 m², ou d'observations réalisées en conditions réelles, sur un périmètre de 2 000 ha, il est très rapidement apparu que la relation entre variance s^2 et moyenne m serait la loi de TAYLOR: $s^2 = am^b$ (fig. 2).

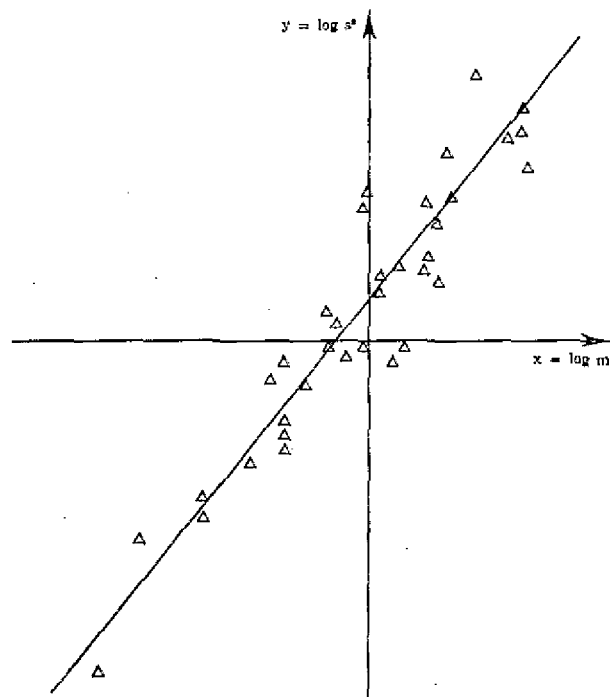


Fig. 2. — Ajustement à la loi de Taylor.
Relation variance/moyenne chez *H. armigera* (35 populations estimées sur 30 échantillons).
 $y = 0,116 + 1,125 (x + 0,04)$, $r = 0,90$.

On peut conclure de ces observations que les distributions de fréquences des populations larvaires ainsi échantillonnées passent de la loi de Poisson, c'est-à-dire d'une répartition au hasard des individus, à une loi de type binomial négatif, liée à la formation d'agrégats. La distribution au hasard est caractéristique d'une phase primaire d'infestation, tandis que les agrégats apparaissent lorsque la moyenne augmente. Les applications de pesticides tendent à réduire la variance et à homogénéiser la population.

Un autre résultat issu de ces observations a été de mettre en évidence des axes préférentiels d'infestations, rendant nécessaire la subdivision d'une surface donnée en éléments plus homogènes du point de vue entomologique et conduisant à la pratique d'un échantillonnage stratifié.

Normalisation des données et définition d'un intervalle de confiance

La précision à attendre d'une moyenne issue des observations définies précédemment est sous la dépendance de deux facteurs antinomiques :

- l'intensité de l'infestation ;
- l'homogénéité de la répartition des insectes.

La transformation la plus appropriée paraît être la transformation logarithmique.

Quelques chiffres permettront d'illustrer les fluctuations qui apparaissent lors de l'estimation des densités de populations, et l'importance du nombre d'échantillons nécessaires à l'obtention d'une précision déterminée : pour une population estimée entre 1 000 et 1 500 larves/ha, la précision passe de 50,4 à 25,2 % lorsque le nombre d'échantillons passe de 30 à 100. Si l'effectif de la population atteint 3 000 larves/ha, le gain de précision se réduit (de 31,2 à 21,7 %).

Un autre exemple illustre l'effet densité dans une zone relativement homogène couvrant 300 ha pour 30 points d'observation.

| m | Chenilles/ha | V/m | Intervalle de confiance (après transformation) |
|-------|--------------|------|--|
| 0,196 | 250- 570 | 1,07 | 46,3 % |
| 0,924 | 1 560-2 140 | 1,17 | 15,7 |
| 3,196 | 5 730-7 050 | 2,60 | 10,9 |

On peut conclure que l'intervalle usuel de confiance pourra être inférieur à 20 %, lorsque la densité des populations déprédatrices atteint $2 \cdot 10^3$ larves/ha, et avec une densité de sondage de l'ordre d'une unité de prélèvement pour 10 hectares.

Définition d'un plan d'échantillonnage séquentiel

A partir des données obtenues, relatives au type de distribution des populations larvaires déprédatrices (*H. armigera* et *E. insulana*), il devient possible, sous réserve de définir les densités de populations critiques, d'envisager une protection insecticide en fonction de seuils d'intervention.

Plutôt que de définir la densité réelle (avec une précision déterminée) des espèces en cause, il s'agit d'estimer la moyenne et de la comparer à un inter-

valle dont la limite inférieure est celle de la décision de non intervention et la limite supérieure correspond au déclenchement d'une application insecticide. Ces limites sont déterminées en fonction des dégâts occasionnés.

Si l'on considère non plus le nombre de larves par échantillon, mais la présence ou l'absence de chenilles de l'une des deux espèces en cause sur un échantillon, on constate qu'à moins de 50 % des points infestés correspondent des populations inférieures à $3 \cdot 10^3$ chenilles/ha, tandis que des populations de $5 \cdot 10^3$ et plus correspondent au moins à 75 % des échantillons élémentaires portant une chenille ou davantage.

Ce sont ces deux chiffres qui ont été retenus en première analyse comme les bornes d'un plan séquentiel en vue du déclenchement des interventions sur seuil préalable.

Pour l'examen d'une unité de 5 mètres de ligne, portant sur l'ensemble du plant, on note une réponse positive à la première forme larvaire rencontrée, la réponse négative n'étant acquise qu'après examen complet de l'échantillon élémentaire. Avec les valeurs définies précédemment, à savoir $p_1 = 0,75$ ou plus, et $p_0 = 0,50$ ou moins, on a fixé, en outre, l'erreur admise à 10 %. WALD (1947) donne les formules nécessaires pour le tracé des équations correspondant à des limites, dans le cas de la loi binomiale, et permettant d'établir un tableau de décision.

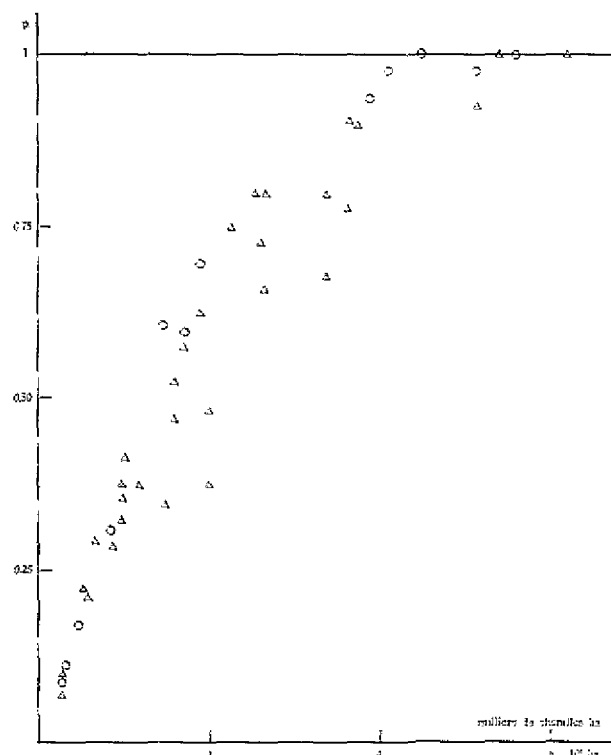


Fig. 3. — Proportion d'échantillons infestés/densité (larves/ha).

△ Populations d'*H. armigera* en 1972, 73 et 74.
○ Population d'*E. insulana* en 1972.

| Nombre d'échantillons observés | Nombre d'échantillons infestés | |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| | Limite inférieure | Limite supérieure |
| 5 | | |
| 5 | 1 | |
| 10 | 4 | 9 |
| 15 | 7 | 12 |
| 20 | 10 | 15 |
| 25 | 13 | 18 |
| 30 | 16 | 21 |

Conclusion

Dans la perspective d'une protection contre les insectes, intégrant diverses méthodes de lutte et où la décision d'intervention à l'aide de pesticides serait liée à un niveau de population prédéterminé, un échantillonnage par analyse progressive (ou échantillonnage séquentiel) constitue une méthode simple permettant une prise de décision rapide.

Il convient cependant de limiter les surfaces que pourra couvrir une telle prise de décision, pour conserver une précision suffisante. D'autre part, les interventions prenant un caractère curatif, et non plus préventif, une modification dans les matières actives, ainsi que dans les doses actuellement vulgarisées, est à prévoir.

Essais de matériel et techniques d'application

Successivement ont été testés et employés :

- en 1955 : poudrage ;
 1958 : épandage par pulvérisation à main ;
 épandage par pulvérisation à moteur ;
 1959 : pulvérisation par avion ;
 1968/1974 : micronisation par avion et par appareil à main, d'abord avec un produit aqueux, puis avec un produit huileux.

Dans la pratique, il semble que l'avion s'impose en culture irriguée, de par la structure même des aménagements hydrauliques et des difficultés de passage entre les lignes de cotonnier (irrigation et développement végétatif des plants). Dans le sud-ouest, les essais de techniques de traitement ont permis de constater une très bonne efficacité des épandages huileux à bas volume, tant par avion que par appareil à main.

Matériel et techniques

Les essais ont été réalisés en culture irriguée sur la variété de cotonnier Stoneville 7A, semée sur billons espacés de 0,90 m.

Caractéristiques physiques des pulvérisations avec les différents matériels expérimentés

| Matériels | Volume/ha | VMD (a) | Homogénéité de la pulvérisation | Densité gouttes/cm ² | |
|--|--------------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| | | | | Surface horizontale | verticale |
| Pulvérisation aqueuse Avion Pawnee 150 Rampe 45 gicleurs D 12 Spraying System. Pression : 40 p.s.i. Hauteur de vol : 2 m Largeur pulvérisation : 13 m (pulvérisation conventionnelle) | | | | | |
| | Azodrine-DDT + eau 60-65 l/ha | 380 | 64 % | 5 | 10 |
| Colibri Vermorel portable avec rampe Tecnomat 6 gicleurs 80/100° Pression : 5 kg Largeur pulvérisation : 1,80 m | Azodrine-DDT + eau 150 l/ha | 240 | 77 % | 239 (b) | |
| Pulvérisation huileuse Avion Pawnee 235-4 micronaires Britten Norman AU 3000. Pression : 35 p.s.i. Débit 41 l/mn. Angle des pales : 4° Hauteur de vol : 2 m Largeur pulvérisation : 25 m (pulvérisation « bas volume ») | | | | | |
| | Azodrine-DDT 10-30 LV 6,5 l/ha | 120 (140) (d) | 80 % | 50 (c) | 400 (c) |
| Micron ULVA | Dimécron | 86 | 82 % | 239 (b) | |

(a) Gouttes recueillies sur magnésie
 (b) Sol nu

(c) Sur trépied
 (d) Selon température et hygrométrie

Les insecticides utilisés ont été les suivants :

— en traitement conventionnel aqueux

Azodrine 55,2 e.c. et DDT 25 % e.c. en mélange extemporané à la dose de 700 à 750 g/ha m.a. d'azodrine et 1 500 à 2 000 g/ha m.a. de DDT. Les quantités de bouillie insecticide utilisées ont été de 65 l/ha, en pulvérisation aérienne et de 130 l/ha en traitement au sol :

— en traitement bas volume huileux

Deux formulations ont été utilisées :

Azodrine-DDT 12,3-24,6 bas volume, en 1971-1972 ;

Azodrine-DDT 10-30 bas volume, en 1973.

Les doses de matière active employées ont été les mêmes qu'en traitement conventionnel.

Les quantités d'insecticides utilisées ont été de 6,5 à 7,5 litres par hectare, suivant les formulations. Le réglage des micronaires en pulvérisation aérienne à bas volume a toutefois varié en ce qui concerne la pression et le débit avec la largeur des bandes traitées ; par contre, la vitesse de l'avion et l'angle des pales n'ont pas été modifiés au cours des essais. La hauteur de vol a également été maintenue à 2 mètres au-dessus du sommet des cotonniers.

L'efficacité des traitements a été mesurée par :

— les rendements exprimés en kg de coton-graine par hectare :

- le pourcentage de capsules saines à la récolte ;
- le nombre de larves de prédateurs.

RESULTATS

1) Essai de traitement à bas volume avec appareils manuels (1971)

En 1971, un essai comparatif d'épandage de monocrotophos-DDT, à la dose de 750-1 500 g/ha m.a., a été réalisé avec les deux types d'appareils suivants :

- Colibri avec rampe tecnomat : pulvérisation aqueuse 150 l/ha ;
- Micron ULVA : pulvérisation bas volume 63 l/ha.

L'appareil Colibri avec rampe horizontale effectuait la couverture des deux lignes de cotonnier, soit 180 m de large.

L'appareil Micron ULVA, tenu au-dessus du sommet des plants, couvrait également deux lignes de cotonnier, pendant les trois premières applications : pour les sept applications suivantes, l'appareil ULVA a été maintenu en dessous du sommet des cotonniers et un passage a été effectué dans chaque interligne. Au total, dix traitements ont été réalisés à la cadence d'un traitement tous les 10 jours. Les prédateurs les plus importants dans cet essai ont été *H. armigera*, de février à mai, puis *E. insulana*, en avril-mai.

Les principaux résultats sont donnés dans le tableau suivant :

| Matériel | Récolte de coton-graine kg/ha | | | Pourcentage de capsules atteintes au 21 juin |
|-------------------------|----------------------------------|-----------|------------|--|
| | au 5 mai | au 27 mai | au 21 juin | |
| Colibri Tecnomat | 2 169 | 2 985 | 3 913 | 24 % |
| Micron ULVA | 1 603 | 2 592 | 3 705 | 22 % |
| Témoin non traité | 10 | 30 | 46 | 60 % |

Les différences constatées à la récolte entre les modes de pulvérisation ne sont pas significatives : toutefois, il semble que l'on puisse constater un certain retard dans la production sur l'objet traité avec le Micron ULVA. Ce retard est dû à une perte de boutons floraux pendant la période au cours de laquelle *H. armigera* a exercé une forte pression parasitaire. Il n'est toutefois pas possible d'affirmer, vu la grande hétérogénéité de cet essai, que ce retard soit provoqué par une perte de matière active due à la taille des gouttes ou au fait que nous avons traité toutes les deux lignes pendant les trois premiers traitements.

2) Essais de traitement à bas volume en application aérienne

Deux parcelles de 13 ha ont été traitées à la dose de 6,5 l/ha d'azodrine-DDT 10-30, l'une avec un écar-

tement entre les axes de passage de 20 m, l'autre avec un écartement de 30 m.

Neuf pulvérisations ont été ainsi réalisées entre 9 et 10 heures du matin, les 10, 15, 25 mars, les 4, 14, 24 avril, les 3, 14, 24 mai.

Les vitesses du vent observées au moment des traitements ont été respectivement de 14, 11, 17, 7, 7, 22, 4, 7, 14 km/heure.

Les contrôles biologiques d'efficacité ont porté sur les comptages de larves de prédateurs et le pourcentage de capsules atteintes à la récolte.

Semées le 12 janvier, ces parcelles ont été maintenues sans traitement jusqu'au 10 mars, afin d'obtenir une infestation assez forte de la part d'*H. armigera* et de divers autres prédateurs. Les résultats montrent que la protection a été meilleure avec un passage tous les 20 mètres qu'avec un passage tous les 30 mètres.

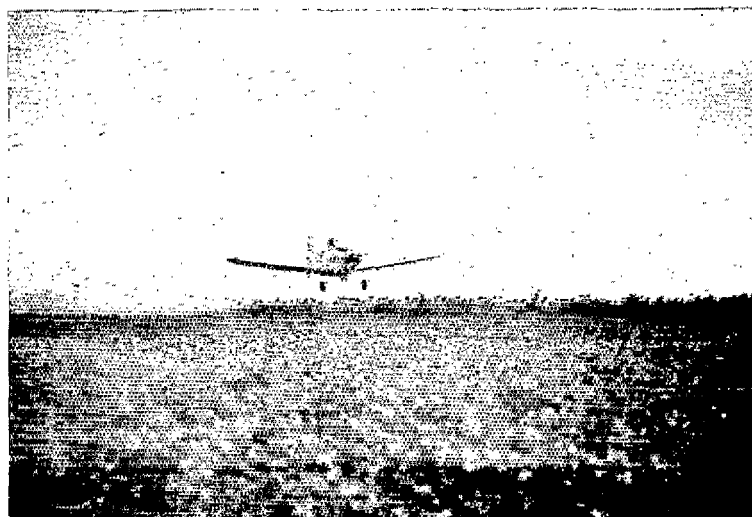


Fig. 4. — Traitement insecticide par avion à Tanandava.

Les déprédateurs autres qu'*H. armigera* avant les premiers traitements (*Xanthodes* et *Plusia*: 20 000 larves/ha, *Laphygma*, *Spodoptera*, *Dysdercus* et *Aphis*) ont totalement disparu dès la première application.

On a également noté la rapidité d'action du mélange insecticide et de sa technique d'application sur *H. armigera*, en particulier sur l'objet « 20 mètres », puisque les populations étaient devenues inexistantes dans les 24 heures suivant le premier traitement. (Les larves d'*H. armigera* rencontrées avant le traitement étaient de tous stades.)

Les rendements en coton-graine à la récolte n'ont pu être pris en considération, le potentiel des deux parcelles étant différent. Par contre, nous avons obtenu au moment de la récolte les pourcentages de capsules attaquées suivants :

- écartement de survol 20 m : 7,3 % de capsules attaquées ;
- écartement de survol 30 m : 12,6 % de capsules attaquées.

Il semble donc que la protection générale ait été moins bonne sur l'écartement 30 mètres que sur l'écartement 20 mètres, ce que confirment les comptages d'*H. armigera*.

Signalons que nous avons également traité en 1973, avec cette technique, deux parcelles, l'une de 120 ha à Tanandava, l'autre de 80 ha dans le nord-ouest, avec un écartement de survol de 20 mètres. La protection obtenue a été au moins aussi bonne qu'avec la pulvérisation traditionnelle sur les divers déprédateurs.

Les surfaces traitées par heure de vol d'avion ont été trois fois plus élevées.

Etudes de toxicité sur *Earias* sp. au laboratoire

Etude et mise au point de l'élevage d'*Earias* sp. sur milieu artificiel

Composition

Nous avons utilisé comme point de départ le milieu « Poitou » déjà employé pour élever, en France, plusieurs espèces de Lépidoptères Noctuidae.

Plusieurs modifications ont été apportées à ce milieu, aussi bien dans les pourcentages des divers composants que dans le choix de ces derniers.

La composition du milieu adopté est :

| | % |
|------------------|-------|
| Eau | 67,80 |
| Agar | 1,80 |
| Semoule de maïs | 20,00 |
| Germe de blé | 2,80 |
| Levure de bière | 3,00 |
| Acide ascorbique | 0,50 |
| acide benzoïque | 0,12 |
| Nipagine | 0,08 |
| Cholestérol | 0,20 |
| Alphacel | 1,10 |
| Jaune d'œuf | 2,60 |

Le pH de ce milieu est de l'ordre de 6.

Préparation du milieu

L'agar est versé dans l'eau préalablement chauffée à 60 °C et porté à ébullition durant 2 à 3 minutes avec agitation continue.

A part, sont mélangés à sec : semoule de maïs,

germe de blé, levure de bière, acide ascorbique, acide benzoïque, nipagine, cholestérol et alphacel. Le mélange eau-agar est refroidi à 50°C, versé ensuite dans le mixeur où est ajouté le jaune d'œuf, le tout est alors mixé pendant une minute à petite vitesse, afin de pulvériser entièrement le jaune d'œuf.

Le mélange sec est alors ajouté progressivement, tout en augmentant la vitesse du mixeur.

Mixage final à grande vitesse pendant une minute. Le milieu est alors prêt : à ce moment-là l'on dispose de 3 à 4 minutes pour couler le milieu avant que l'agar ne commence à prendre. On peut, après refroidissement complet, stocker les boîtes de milieu artificiel au frigidaire, à une température de 6-7°C.

Mise au point de la technique d'élevage d'*E. insulana* sur milieu artificiel

La technique d'élevage joue un rôle primordial dans le succès de l'élevage. Sa mise au point nécessite une très longue pratique et de nombreuses modifications avant de parvenir à des résultats satisfaisants.

L'élevage d'*Earias* est conduit au laboratoire dans des salles à température et humidité relative constantes ; $T = 26^{\circ}\text{C}$; $\text{HR} = 70\%$; une récolte hebdomadaire, soit sur Malvacées spontanées (*Abutilon asiaticum*), soit sur cotonnier, nous permet de renouveler régulièrement la souche.

Les larves récoltées sont placées sur milieu artificiel dans des « boîtes à carte », par lots de 10, jusqu'à la nymphose. Les chrysalides sont alors groupées par date de ramassage et mises dans des cages à incuber. Lors de l'éclosion, les adultes sont alors lâchés dans la « cage pondoir ». Dans cette dernière, les adultes (jusqu'à 100 individus) sont nourris avec une solution de miel régulièrement renouvelée.

Les œufs déposés par les femelles sur les feuilles de papier « essuie-tout » sont récoltés chaque 24 heures. Ces pontes sont le point de départ de l'élevage première génération dont les stades larvaires fourniront le matériel de test « doses léthales ».

Les feuilles de papier « essuie-tout » sont découpées de façon à conserver les œufs sur leur support de papier ; par date de ponte, les œufs sont ensuite mis à incuber dans des cristallisoirs, sur les parois desquels a été coulée une mince couche de milieu artificiel. La lame de milieu artificiel est incisée, pour faciliter la pénétration des larves néonates, et satisfaire à leur thigmotactisme.

La durée de conservation du milieu (environ 6 jours dans les conditions d'élevage) nous permet de maintenir les jeunes larves dans le cristallisoir jusqu'au début du deuxième stade.

Les jeunes chenilles sont alors transférées individuellement dans des boîtes « cubes caubère » de 2 cm de côté ; chaque boîte renferme environ 1 g de nourriture artificielle, quantité suffisante pour nourrir les larves jusqu'au troisième stade. La durée moyenne de la période larvaire étant de 17 jours,

il faut, pour parvenir jusqu'au stade chrysalide, changer 3 à 4 fois le milieu.

Tests de toxicité et résistance d'*Earias insulana* à l'endrine

Earias insulana (Boisd.) et *E. biplaga* (Wlk) sont avec *Heliothis armigera* les principaux prédateurs de la culture cotonnière à Madagascar. La lutte chimique contre ces ravageurs a donc atteint une intensité considérable, le nombre d'applications variant de 10 à 12 pour une campagne cotonnière.

Ces traitements insecticides étaient à base de DDT et d'endrine ; ces deux matières actives, employées isolément ou le plus souvent en mélange, donnaient de bons résultats.

Cependant, dès 1966, dans la région de Tanandava, les traitements endrine-DDT effectués aux doses habituelles n'eurent pas d'action sur les larves d'*Earias*. Ce manque d'efficacité nous amena à envisager une résistance à l'insecticide.

Ce phénomène, déjà observé pour d'autres prédateurs du cotonnier dans le monde, ne l'a jamais été, à notre connaissance, pour *E. insulana* et *E. biplaga*. Nous avons donc entrepris des tests destinés à étudier dans les diverses zones cotonnières de Madagascar l'évolution de cette résistance.

Premiers tests de résistance en 1967

Les moyens d'investigation dont nous disposions à cette époque ne nous permettaient pas de réaliser une étude basée sur les doses léthales. Aussi, nous sommes-nous inspirés de la technique employée par MATTHEWS (1966) sur *Heliothis armigera*.

Nous avons utilisé la méthode de « trempage » qui permet d'obtenir des résultats exprimés en concentrations léthales 50 %.

Les tests étaient réalisés sur des larves d'*Earias* du deuxième stade : celles-ci étaient une à une trempées dans un mélange aqueux d'insecticide de concentration donnée. La mortalité était observée 24 heures après le test.

Chaque test comprenait un témoin traité à l'eau distillée.

Notre étude a porté plus particulièrement sur *Earias insulana* en provenance, d'une part, de Tanandava, zone où de nombreux traitements à l'endrine avaient été effectués et, d'autre part, de la région de Betioky, zone sans traitement. Dans les deux cas le matériel testé avait été récolté sur coton.

Le lot en provenance de Betioky a donné une indication très nette à la concentration 5.10^{-3} : 100 % de mortalité et une rapidité d'action très élevée.

Le lot en provenance de Tanandava a donné à la concentration 5.10^{-2} : 7 % de mortalité à 24 heures.

La concentration était donc à multiplier par 100 ou plus pour obtenir sur *E. insulana* en provenance de Tanandava une action de l'endrine.

Etudes des doses léthales sur E. insulana et E. biplaga (1970-1972)

La détection et la mesure de la résistance à un insecticide chez un prédateur donné comporte essentiellement une comparaison de la réaction à l'insecticide, dans le temps et dans l'espace.

Ainsi seulement peut-on prévoir et prévenir toutes les conséquences qu'entraîne l'apparition d'une résistance et déterminer à temps la valeur de produits chimiques de remplacement ou d'autres mesures de lutte.

1) *Choix de la souche de référence*

La détection précoce de la résistance nécessite tout d'abord le choix d'une souche de référence. Nous avons choisi, dans le cadre de notre étude de résistance à l'endrine, des populations récoltées dans la zone de Tuléar où cet insecticide n'est plus utilisé depuis cinq ans.

2) *Constitution de l'échantillon de référence*

Le fait d'avoir deux espèces morphologiquement très voisines et occupant le même habitat simultanément et peut-être consécutivement à diverses périodes de l'année, nous a donc obligés à faire parallèlement une série de tests pour chacune.

Ceux-ci sont effectués uniquement sur des larves élevées au laboratoire. Il est certain que la sensibilité de ce matériel a évolué par rapport aux populations récoltées aux champs. Nous avons cependant dû nous contenter de cette approximation, car il n'était guère possible d'opérer sur des larves collectées en plein champ, d'une part, à cause de l'hétérogénéité de ce matériel quant au stade et au poids et, d'autre part, à cause du pourcentage élevé (jusqu'à 70 %) de larves parasitées ou atteintes de maladie.

Périodiquement, des chenilles d'*Earias* sont récoltées au champ, au stade larvaire 3 ou 4, et élevées au laboratoire sur milieu artificiel, et en salle climatisée (T : 25 ° C et 75 % HR).

Les chrysalides sont groupées par date de ramassage. Lors de l'éclosion, les adultes sont lâchés dans une cage pondoir. Les pontes ainsi obtenues sont le point de départ de la génération qui sera testée; c'est ce que nous appellerons : « première génération au laboratoire ».

Les jeunes larves sont, elles aussi, élevées sur milieu artificiel jusqu'au stade 3; chacune pèse alors environ 5 mg et est prête à être testée. Juste avant les tests, les larves sont pesées une à une et réunies par lots de 10 chenilles de même poids.

3) *Technique de tests*

Nous avons commencé nos tests avec des lots exposés à une progression géométrique de doses de raison 2: premier lot à 1 unité d'insecticide; deuxième lot à 2 unités; troisième lot à 4; quatrième lot à 8; le cinquième lot servant de témoin et ne

contenant que du solvant (0 unité). Cependant, lorsque la réponse des individus testés donne lieu à une courbe de régression à très faible pente, la raison géométrique peut être de l'ordre de 8 ou 10.

Les mortalités sont observées 24 heures après l'exposition à l'insecticide. Cette mortalité doit faire l'objet d'une correction pour tenir compte des facteurs autres que l'exposition à l'insecticide et qui est représentée par la mortalité observée dans le lot témoin.

On utilise pour cela la formule d'ABBOTT :

$$\text{mortalité corrigée \%} = \frac{\text{mortalité du test \%} - \text{mortalité témoin \%} \times 100}{100 - \text{mortalité du témoin \%}}$$

Lorsque la mortalité du lot témoin est inférieure à 3 %, la correction ne se justifie pas et, si elle excède 20 %, on doit refaire le test en essayant de diminuer les causes de mortalité dans le témoin.

La DL 50 a été établie à l'aide de la méthode de KARBET : le choix de cette méthode a été déterminé par les raisons suivantes :

- a) elle est d'emploi très commode;
- b) elle ne nécessite que peu de calculs;
- c) elle ne nécessite qu'un nombre réduit d'échantillons.

Pour chaque dose testée, de quatre à dix répétitions sont effectuées.

Les jeunes larves de troisième stade sont présentées par lots de 10 individus sensiblement de même poids, sur une feuille de papier blanc; ainsi, lors de l'application, si la micro-goutte déposée sur les segments thoraciques n'est pas entièrement absorbée par la larve, et « coule », une auréole est visible pendant quelques instants sur le papier; l'individu est alors éliminé du test.

Après application topique, chaque lot (10 individus) est mis sur nourriture artificielle, dans une boîte de Pétri plastique, à température et humidité relative identiques à celles de l'élevage. La mortalité est observée 24 heures après le test.

4) *Résultats*

a) *Sur populations en provenance de la zone cotonnière du sud-ouest (Tuléar)*

Grâce à un élevage permanent d'*E. insulana*, nous avons pu tester, sur 6 000 larves « première génération au laboratoire », plusieurs matières actives : monocrotophos, endosulfan, carbaryl et endrine.

- Monocrotophos sur *E. insulana* (1971)
DL 50 = 14,8 ± 0,28 microgrammes/g de larve.
- Endosulfan sur *Earias insulana* (1971)
DL 50 = 239 microgrammes/g de larve;
132 < DL 50 < 435.

- Carbaryl sur *Earias insulana* (1971)
DL 50 = 28,8 microgrammes/g de larve ;
20 < DL 50 < 42.
- Endrine sur *Earias insulana* (1971)
DL 50 = 69 microgrammes/g de larve ;
41 < DL 50 < 115.
- Endrine sur *Earias biplaga* (1971)
DL 50 = 5,2 microgrammes/g de larve ;
3,8 < DL 50 < 7,6.

b) Sur populations en provenance de la zone cotonnière nord-ouest (= Majunga)

C'est au cours de l'année 1971 que nous avons pu commencer à tester à Tuléar du « matériel » en provenance de la zone cotonnière de Majunga.

Ces tests avaient pour but de déterminer les DL 50 pour l'endrine des deux espèces d'*Earias* et de les comparer à celles obtenues avec le matériel de Tuléar. En effet, la protection phytosanitaire du coton sur la zone de Majunga était assurée depuis plusieurs années par l'émulsion mixte endrine-DDT. Il était donc important de déterminer le niveau d'action 1971 de l'endrine et de le comparer au niveau d'action obtenu sur le matériel en provenance de Tuléar, zone où l'émulsion mixte n'était plus employée depuis 4 années consécutives.

Les deux descendance ont été élevées dans les mêmes conditions de température et d'hygrométrie : la nourriture artificielle a été la même et les tests se sont déroulés dans les mêmes conditions que pour l'étude des lignées de Tuléar.

- a) Endrine sur *E. biplaga* (1971)
DL 50 = 3 680 ± 424 microgrammes/g de larve
(avec *E. biplaga* de Tuléar 3,8 < DL 50 = 5,2 < 7,6).
- b) Endrine sur *E. insulana* (1971)
842 < DL 50 = 942 < 1 083
(avec *E. insulana* de Tuléar 41 < DL 50 = 69 < 115).
- c) Endrine sur *E. biplaga* (1972)
DL 50 = 3 880 ± 520 microgrammes/g de larve.

Les premiers tests sur le matériel en provenance de Majunga ont montré que, aussi bien sur *E. insulana* que *E. biplaga*, les DL 50 de l'endrine étaient beaucoup plus élevées que pour les populations de la zone de Tuléar :

- DL 50 pour *E. biplaga* à Majunga, 700 fois plus élevée que pour *E. biplaga* Tuléar ;
- DL 50 pour *E. insulana* à Majunga, 13 fois plus élevés que pour *E. insulana* Tuléar.

La série de tests de 1972 sur *E. biplaga* provenant de Majunga confirme les résultats de 1971 et montre la persistance de la résistance.

c) Conclusions

La détection de la résistance à l'endrine d'*Earias insulana* et d'*E. biplaga* nous a permis de modifier à

temps les recommandations phytosanitaires jusque-là observées.

En effet, dès les premiers résultats obtenus en 1967, l'emploi du carbaryl a été recommandé, afin de renforcer les applications insecticides contre *Earias*.

D'autre part, les résultats obtenus en 1971 et 1972 sur la zone de Majunga nous ont contraints à abandonner le mélange endrine-DDT et à recommander à la place le monocrotophos-DDT qui, en plus de son efficacité, présente l'avantage d'être d'une utilisation plus commode que les poudres mouillables comme le carbaryl-DDT.

Intégration des méthodes de lutte

Entomophages

Dans la perspective d'une réduction des interventions phytosanitaires en culture cotonnière irriguée, il a été procédé à un certain nombre d'observations portant sur la présence, l'impact et les développements possibles du rôle des parasites des principaux prédateurs.

Inventaire des entomophages

(voir tableau page 225)

Elevage et multiplication de *Trichogrammes*

Parmi les entomophages susceptibles d'être utilisés en tant qu'agents de lutte biologique, notre choix s'est porté sur les *Trichogrammes* (Hyménoptères, Chalcididae). Ces derniers sont parasites des œufs de nombreux Noctuidae, et en particulier d'*H. armigera*.

Le parasite utilisé pour conduire ce programme de recherche (la souche autochtone n'ayant été trouvée qu'en mars 1974) a été *Trichogramma brasiliensis* Ashm (origine : El Salvador), introduit à Madagascar en provenance de l'I.N.R.A. (Versailles), qui a assuré la quarantaine.

Cet envoi nous a permis de commencer l'élevage de masse de cet hyménoptère, dans le but de réaliser des lâchers massifs de ce parasite, d'étudier son action sur les populations d'*H. armigera* et d'évaluer l'efficacité de la protection ainsi obtenue.

Au cours de l'année 1972, nous avons mis au point une méthode d'élevage « semi-industriel » du parasite, permettant d'obtenir une production journalière moyenne de 100 000 adultes dès le début de la campagne cotonnière, c'est-à-dire fin novembre-début décembre 1972.

Nous avons, pour des questions de commodité et de prix, multiplié les *Trichogrammes* sur *Anagasta kuehniella* Zeller (Lep. Pyralidae).

La technique d'élevage d'*A. kuehniella* est inspirée de celle mise au point par les laboratoires de l'I.N.R.A. à Antibes (BILLOTTI et DAUMAL, 1969) et adaptée aux conditions locales.

Inventaire des entomophages

| Hôte | Entomophages | Fréquence | Type |
|--------------------------|---|-----------|-------------|
| <i>I. armigera</i> | <i>Trichogramma evanescens</i> | ++++ | œufs |
| | <i>Chelonus curvimaculatus</i> | ++ | ovolarvaire |
| | <i>Apanteles</i> sp. | ++ | ovolarvaire |
| | <i>Meteorus</i> sp. | ++ | |
| | <i>Charops</i> sp. | + | |
| | <i>Euplectrus laphygma</i> | + | |
| | <i>Carcelia evolvans</i> | ++ | |
| | <i>Exorista</i> sp. | ++ | |
| <i>E. insulana</i> | <i>C. curvimaculatus</i> | +++ | |
| | <i>Agathis aciculatus</i> | +++ | |
| | <i>Brachymeria</i> sp. | ++++ | nymphes |
| | <i>Proctotrypoidea</i> non dét. | + | |
| | <i>Actia</i> sp. | ++ | |
| | <i>Exorista</i> n.sp. | + | |
| <i>P. gossypiella</i> | <i>C. curvimaculatus</i> | ++ | |
| <i>D. flavidus</i> | <i>Tachinidae</i> non dét. | ++ | |
| | <i>Phonoctonus</i> n.sp. | +++ | prédateur |
| <i>S. littoralis</i> | <i>Chelonus</i> sp. | + | |
| | <i>Apanteles</i> sp. | + | |
| | <i>Charops</i> sp. | + | |
| | <i>Euplectrus laphygmae</i> | + | |
| <i>Cosmophila</i> | <i>Brachymeria tibialis</i> | ++ | nymphes |
| | <i>Tachinidae</i> non dét. | ++ | nymphes |
| <i>Xanthodes</i> | <i>T. evanescens</i> | ++ | œufs |
| | <i>Charops</i> sp. | + | |
| | <i>Tachinidae</i> non dét. | + | |
| <i>A. gossypii</i> | 6 Coccinellidae identifiés par l'ORSTOM | | |
| <i>F. virgata</i> | 1 Coccinellidae | | |
| | 3 Hyménoptères Encyrtidae | | |
| <i>T. neocaledonicus</i> | 1 Coccinellidae | | |



Fig. 5. — Batterie de 5 éclosoirs d'*A. kuehniella*.

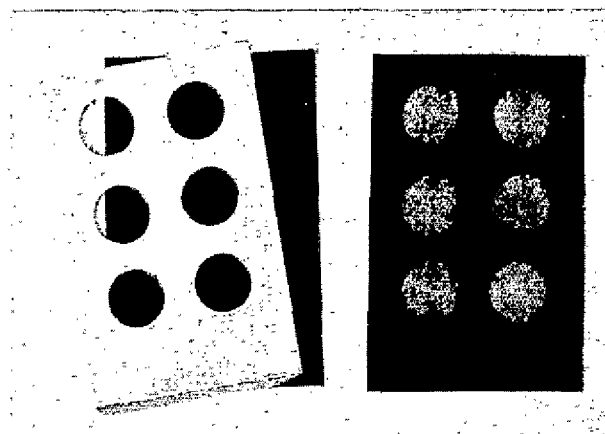


Fig. 6. — Cercles enduits de gomme arabique sur papier à dessin noir ; à droite, le cache ; à gauche, les cercles enduits recouverts d'œufs.

L'infestation par les Trichogrammes des œufs d'*A. kuehniella* se fait dans des boîtes étanches de $30 \times 21 \times 17$ cm. Le fond de la boîte porte une série de rainures parallèles destinées à recevoir les cartes de ponte et à les maintenir verticales et parallèles. Les « cartes mères » portant les pontes parasitées sont déposées dans la boîte et, dès l'éclosion des Trichogrammes, les « cartes filles » portant les œufs sont à leur tour insérées dans les rainures du fond de la boîte. L'exposition des « cartes filles » aux parasites dure 24 heures à 25°C et 75 % H.R.

Environ 10 % des œufs parasités sont conservés pour les infestations à venir ; les 90 % sont stockés en vue de lâchers aux champs.

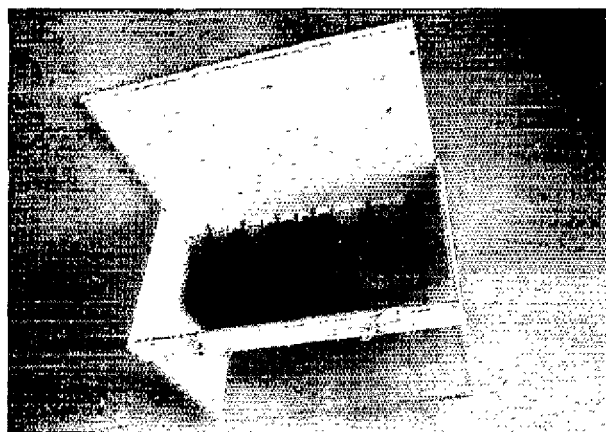


Fig. 7. — Boîte d'infestation des œufs d'*A. kuehniella* par *Trichogramma brassicae*.

Lâchers aux champs

Les premières populations d'*H. armigera* sur cotonnier apparaissent généralement, dans le sud-ouest de Madagascar, vers le 15 janvier. Aussi, à partir de cette date est-il impératif de commencer les traitements chimiques.

Par des libérations massives de Trichogrammes, nous désirions connaître s'il était possible de retarder la date de la première intervention insecticide et de combien de temps.

Les lâchers sont réalisés à partir de postes régulièrement disposés dans la parcelle. Chaque point de lâcher est repéré par un piquet dépassant très largement la hauteur maximale des cotonniers et auquel est suspendu un gobelet en plastique qui permet de protéger de la pluie les cartes portant les œufs parasités. Les postes de lâchers sont approvisionnés trois fois par semaine ; la première libération de Trichogrammes est réalisée environ 35 jours après la levée.

En 1973, l'expérimentation a été conduite sur une parcelle de 2 hectares en station, et sur une parcelle de multiplication de 35 hectares.

La parcelle de 2 hectares comportait trois sous-parcelles semées à des dates différentes :

- 1^{re} sous-parcelle semée le 16 novembre 1972 ;
- 2^e sous-parcelle semée le 6 décembre 1972 ;
- 3^e sous-parcelle semée le 6 janvier 1973.

Sur les deux premières sous-parcelles, les lâchers ont commencé fin décembre 1972 et se sont poursuivis jusqu'à fin avril 1973. Au total, 6,2 millions de Trichogrammes ont été libérés, soit environ 25 500 Trichogrammes par jour et par hectare.

Les récoltes ont été effectuées de fin mars à mi-avril 1973. Les rendements moyens obtenus ont été de 3 450 kg de coton-graine à l'hectare.

La première phase *H. armigera* semble avoir été bien contrôlée par l'action des Trichogrammes ; en effet, les populations d'*Heliothis*, qui étaient de 10 000 larves/ha lors des premiers lâchers, ont régulièrement diminué pour se stabiliser à environ 2 000 larves/ha (uniquement stades 1 et 2), alors que sur les bordures non traitées d'un essai semé à la même date nous avions, à la même période, 16 000 à 22 000 larves/ha dont 70 % de stades larvaires 4 et 5.

Sur la troisième sous-parcelle (semis tardif du 6 janvier 1973), qui n'a pas reçu de protection, les populations de déprédateurs ont régulièrement augmenté et causé des dégâts importants ; aussi, les rendements obtenus ont-ils été relativement bas : 700 kg de coton-graine à l'hectare.

L'essai de lâcher de Trichogrammes a été réalisé sur la totalité de la parcelle de multiplication de 35 ha. Au total, 280 postes ont été installés. Les premiers lâchers ont été réalisés le 14 février ; à cette date, les populations d'*H. armigera* étaient de 6 000 larves/ha. Du 14 février au 7 mars, il a été lâché environ 3 000 Trichogrammes par jour et par hectare.



Fig. 8. — Poste de lâchers de Trichogrammes dans un champ.

A la date du 7 mars le parasitisme, mal contrôlé, avait considérablement augmenté; les dégâts causés devenant de plus en plus importants, nous avons dû stopper les lâchers et commencer immédiatement la lutte chimique.

Nous avons pu tirer de ces faits les conclusions suivantes :

- levée trop tardive des cotonniers ;
- démarrage trop tardif des lâchers ;
- volume des lâchers certainement trop faible dans ces conditions de culture ;
- pas d'établissement de micro-faune que nous avons observée sur l'essai station et qui avait certainement complété l'action des *Trichogrammes* ;
- le développement végétatif des cotonniers étant très réduit, il semble que les *Trichogrammes* ainsi que le micro-faune n'aient pu trouver un abri suffisant pour s'implanter.

Les résultats obtenus sur cette parcelle semblent donc confirmer plusieurs points déjà observés sur la parcelle station ; des semis précoces et des débuts de lâchers avant l'arrivée des premières fortes attaques d'*H. armigera* semblent être impératifs ; *T. brasiliensis* semble sensible au vent et à la luminosité, donc peu adapté au climat de la région.

Malgré cela, les résultats enregistrés sont suffisamment importants (gain de plusieurs applications chimiques) pour espérer obtenir, avec l'utilisation de la souche autochtone, *T. evanescens*, trouvée en mars 1974, une protection biologique plus globale et plus satisfaisante.

Entomopathogènes

Dans la perspective d'une intégration des diverses formes de lutte contre le complexe déprédateur,

l'emploi d'agents pathogènes a été envisagé, soit à partir de formulations commercialisées, soit par la multiplication contrôlée de micro-organismes existant localement. Un tel mode de lutte paraît s'accommoder, plus facilement que l'emploi des entomophages, d'un programme d'intervention où les pesticides chimiques jouent un rôle essentiel. Par contre, les conditions de réussite, avec le développement provoqué d'épizooties, sont aléatoires du fait de la complexité des facteurs en cause.

Inventaire des pathogènes locaux

Tout au long des campagnes cotonnières successives, les larves des principales espèces déprédatrices ont été récoltées en nature, et leur développement suivi au laboratoire. Les larves présentant un comportement ou une coloration anormaux sont isolées, leur cadavre est mis en suspension puis broyé (*potter de THOMA*) en solution tamponnée, avant examen microscopique. Après une recherche directe, au contraste de phase ($\times 1000$), d'éventuels polyèdres, on procède à deux colorations de routine, le bleu de méthylène de LOEFFLER et la coloration de SVECOVA.

Dès la campagne 1972, un certain nombre de chenilles d'*H. armigera* ont présenté les symptômes d'une maladie de type viral : la chenille, généralement au cours du troisième stade larvaire, cesse de s'alimenter. Le tégument paraît graisseux et luisant, tandis que la chenille se porte sur les parois et à la partie supérieure des boîtes d'élevage où elle s'immobilise. La mort survient dans les 24 heures et est suivie d'une liquéfaction interne. La présence d'un facteur létal transmissible a été facilement mise en évidence après contamination du milieu d'élevage par une suspension diluée au 1/10^e du produit de liquéfaction. Pour des chenilles de 60 mg, la mortalité a été de 80 % au cinquième jour, contre 60 % pour des chenilles de 200 mg. Par simple trempage,

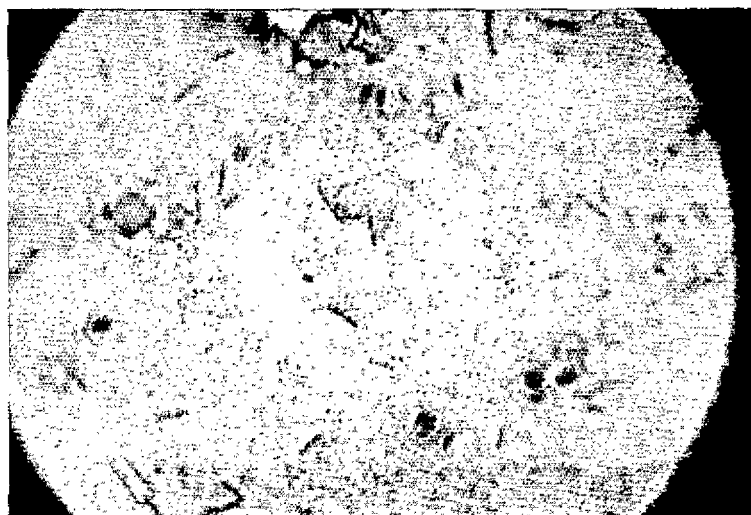


Fig. 9. — Virus *Heliothis*. Tanandava 1974.

la mortalité des L3 tombe à 20 %. On peut donc conclure à l'existence d'un facteur léthal, transmissible par ingestion, présent au sein des populations naturelles d'*H. armigera*.

Les suspensions infectieuses, purifiées par décantation et dilutions successives, ont fait l'objet d'examens microscopiques. On peut observer, au contraste de phase, la présence de nombreux corps d'inclusion polyédriques (photographie). En microscopie électronique*, ces polyèdres apparaissent hexaédriques, plus ou moins ovalisés, et d'une dimension comprise entre 0,9 et 1,3 micron, certains éléments pouvant atteindre 3 microns.

Aucun agent pathogène n'a pu être mis en évidence de façon régulière parmi les populations d'*E. insulana* et de *P. gossypiella*.

Pathogènes introduits

Après les essais aux champs réalisés en 1968, à l'aide d'une préparation de *B. thuringiensis* Berl sans résultat tangible, il faut attendre 1971 pour que soient testées, au laboratoire tout d'abord, aux champs ensuite, diverses formulations commerciales à base d'entomopathogènes. Ces formulations sont :

Polyédrie nucléaire d'*Heliothis zea* :
Viron H (I.M.C.) ;

B. thuringiensis var. *thuringiensis* :

Bactospéine (R.P.) ;

VT 3 153 (R.P.) ;

B. thuringiensis var. *alesti* :

Dipel (ABBOTT).

Au laboratoire, des résultats positifs ont été obtenus avec la Bactospéine, vis-à-vis des chenilles de *Cosmophila auragoides* Guen., ainsi qu'après trempage des œufs d'*H. armigera* (70 % de mortalité au stade L2). Par cette même technique (« egg dipping » de MATTHEWS), on a obtenu 86 % de mortalité, quatre jours après l'éclosion sur l'objet traité au Dipel en solution à 0,5 %.

Au champ, en applications standard (du même type que celles réalisées avec des insecticides chimiques), aucune action d'agents microbiens n'a pu être mise en évidence, qu'ils soient associés ou non à une molécule chimique.

Conclusion à l'étude des entomopathogènes

La complexité des interrelations entre l'insecte et les agents infectieux a conduit à l'échec des tentatives d'applications en nature de formulations qui s'étaient révélées efficaces au laboratoire. Des progrès notables pourraient être réalisés par la production au laboratoire de quantités suffisantes de polyèdres actifs vis-à-vis d'*H. armigera*, suivie d'interventions spécifiques (déclenchement sur avertissement, association virus + insecticide, etc.).

* Grâce à l'accueil du laboratoire des Radio-Isotopes de Tananarive.